

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-72611

(43) 公開日 平成7年(1995)3月17日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 1/08 H 0 1 L 21/027	A	7352-4M 7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 0 2 P 5 2 8
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁)				

(21) 出願番号 特願平5-162920

(22) 出願日 平成5年(1993)6月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 橋本 耕治

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 伊藤 信一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 奥村 勝弥

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 位相シフトマスク

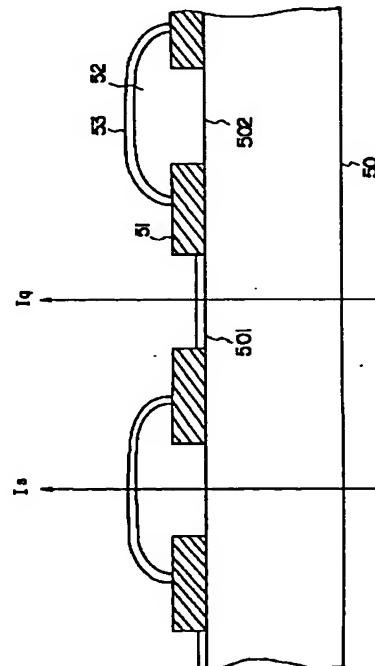
(57) 【要約】

【目的】 基板開口部を透過した光強度と位相シフトを透過した光強度を等しくすることができ、位相シフト部と透明基板の開口部で形成される解像パターンの均一性向上をはかり得る位相シフトマスクを提供すること。

【構成】 透光性基板50上に所望の開口パターンを有する遮光膜51を形成すると共に、開口パターンの一部に透過光に対して位相をシフトする位相シフト材料52を形成した位相シフトマスクにおいて、透過部501とシフト部502の双方に位相シフト材料52と同じ材料からなるバッファ膜53を形成し、このバッファ膜53の膜厚を

$$h = (\lambda / 4 n_s) \cdot |m - n_s / (n_s - 1)|$$

とし(但し、 n_s :シフト屈折率、 λ :露光波長、 m :整数)、透過部501及びシフト部502を通過する光の透過率が等しくなるようにしたことを特徴とする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略 180° となるように位相シフトを配置した任意の 2 本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が前記 2 本の平行な開口部に平行であり、かつ前記 2 本の平行な開口部に垂直な任意の断面における前記囲まれた開口部の本数が偶数の部分では、前記囲まれた開口部内で隣接するものの相対位相を 180° 、前記囲まれた開口部と 2 本の平行な開口部間で隣接するものの相対位相を 180° とし、奇数の部分では、前記囲まれた開口部内で隣接するものの相対位相を 180° 、前記囲まれた開口部と 2 本の平行な開口部間で隣接するものの相対位相を 180° 若しくは 90° となるように設定してなることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 2】透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略 180° となるように位相シフトを配置した任意の 2 本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が前記 2 本の平行な開口部に平行であり、かつ前記 2 本の平行な開口部に垂直な任意の断面における前記囲まれた開口部の本数が断面の位置によって奇数の場合と偶数の場合が存在するとき、偶数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相を 180° となるようにし、偶数部分に含まれない奇数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相を 90° 若しくは 180° となるように設定してなることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 3】透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略 180° となるように位相シフトを配置した任意の 2 本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が前記 2 本の平行な開口部に平行であり、かつ前記 2 本の平行な開口部に垂直な任意の断面における前記囲まれた開口部の本数が断面の位置によって奇数の場合と偶数の場合が存在するとき、偶数部分において隣接した開口部を透過した光の相対位相を 180° になるようにし、その結果奇数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相が 0° になるパターンに対し、この 0° になった隣接する開口部を透過した光の相対位相が 90° となるようにシフトの配置条件を変更してなることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 4】透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフ

2

タを配置し、隣接する開口部の相対位相差が 0° 、 90° 、 180° 、 270° のグループよりなる位相シフトマスクにおいて、

透明基板に対する相対位相差を 180° で除した値 a_i についてその少数部が 0.44 から 0.55 である第 1 のパターングループを抽出し、少数部が $0.94 < a_i$ となる第 2 のパターングループを抽出し、第 1 のグループで描画することで 90° 位相差のシフトパターンを形成し、第 2 のグループで描画することで 180° 位相差のシフトパターンを形成してなることを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 5】透光性基板上に所望の開口パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口パターンの一部に透過光に対して位相をシフトする位相シフト材料を形成した位相シフトマスクにおいて、

位相シフト材料が形成されていない開口パターンからなる透過部と、位相シフト材料が形成された開口パターンからなるシフト部の双方に位相シフト材料と同じ材料からなるバッファ膜を形成し、透過部及びシフト部を通過する光の透過率が略等しくなるようにバッファ膜の厚みを調整してなることを特徴とする位相シフトマスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路の製造等に用いられる露光用マスクに係わり、特に位相シフト法を利用して解像度の向上をはかった位相シフトマスクに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路は高集積化、微細化の一途を辿っており、その製造に際しては、微細加工の要としてリソグラフィ技術が重要である。リソグラフィ技術において、例えば光源に関しては、g 線、i 線、エキシマレーザ、X 線等種々の光源の採用が検討されており、またレジスト材料に関しても、各光源に適した新レジスト材料の開発が行われている。さらに、多層レジスト法、CEL (Contrast Enhancement Layer) 法及びイメージリバース法等のレジスト処理技術に関しても研究が進められている。

【0003】これに対し、マスク製作技術に関しては、これまで十分な検討がなされていなかったが、最近になって位相シフト法が提案されている (M.D. Levenson, N. S. Viswanathan and R.A. Simpson: IEEE Trans. ED-29(1982)1828)。

【0004】図 20 に位相シフト法の原理を示す。この Levenson らが提案した位相シフト法は、その原理からライン・アンド・スペースのような単純な繰り返しのパターンには有効であるが、複雑なパターンになると隣合う開口部を透過する光の位相が同位相となる部分が生じるため、位相シフト法としての効果が著しく低減する。

3

【0005】従来の位相シフト法をDRAMなどの電子デバイスに適用する場合、セルアレイ部などの単純な繰り返しパターンが多い部分には有効であるが、セルアレイ部から周辺回路へ導出する部分（センスアンプなど）は複雑なパターン配置をしたものが多く、この部分に従来の位相シフト法を適用しようとする、パターンを位相シフトが配置しやすいように書き換えなければならない。このため、従来の位相シフト法は設計的に制約の大きなものであった。

【0006】一方、位相シフトマスクのシフト材料には次の問題があった。今まで提案されている位相シフトには透過性の高いレジスト（PMMAなど）やCVD法やスパッタ法で形成したSiO₂膜、SOG等の塗布で形成するSiO₂膜、エッチングによりシフトとなる部分を彫り込んだものなどある。このうちエッチングによりシフト層を形成する方式は、エッチングの形状、残渣等により位相シフト部と通常の開口部との透過光強度が異なり、位相シフト部と通常の開口部で形成される解像パターンに不均一性が生じるといった問題が存在した。また、位相シフトを透過性の高い材料で形成しても、基板開口部と位相シフト部を通過する光の強度が異なるのを避けることはできなかった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の位相シフト法においては、ライン・アンド・スペースのような繰り返しのパターンに交互に位相シフトを配置しないと位相シフト法としての十分な効果が得られないと考えられており、従来の位相シフト法はマスクパターンの設計上の制約が大きいものと考えられていた。

【0008】また、エッチングにより位相シフトを形成する方法には、エッチングの形状、残渣等により基板開口部を透過した光強度と位相シフトを透過した光強度の値が異なるといった問題があった。このため、位相シフト部と透明基板の開口部で形成される解像パターンに不均一性が生じ、露光パターンが所望通り形成されないといった問題が生じていた。

【0009】本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、位相シフト法における十分な解像力を保持しながら、マスクの設計的な制約を小さくすることのできる位相シフトマスクを提供することにある。

【0010】また、本発明の他の目的は、基板開口部を透過した光強度と位相シフトを透過した光強度を近づけることができ、位相シフト部と透明基板の開口部で形成される解像パターンの均一性向上をはかり得る位相シフトマスクを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の骨子は、従来位相シフトマスクにおける設計的な制約を小さくし、かつ位相シフト法としての効果が十分得られるように、例え

4

ば（0°、90°、180°、270°）の位相組み合わせ（隣合うパターンを透過した光の相対位相差が90°若しくは180°）で位相シフトを配置した位相シフトマスクを実現することである。

【0012】即ち、本発明（請求項1）は、透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略180°となるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が2本の平行な開口部に平行であり、かつ2本の平行な開口部に垂直な任意の断面における囲まれた開口部の本数が偶数の部分では、囲まれた開口部内で隣接するものの相対位相を180°、囲まれた開口部と2本の平行な開口部間で隣接するものの相対位相を180°とし、奇数の部分では、囲まれた開口部内で隣接するものの相対位相を180°、囲まれた開口部と2本の平行な開口部間で隣接するものの相対位相を180°若しくは90°となるように設定してなることを特徴とする。

【0013】また、本発明（請求項2）は、透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略180°となるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が2本の平行な開口部に平行であり、かつ2本の平行な開口部に垂直な任意の断面における囲まれた開口部の本数が断面の位置によって奇数の場合と偶数の場合が存在するとき、偶数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相を180°となるようにし、偶数部分に含まれない奇数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相を90°若しくは180°となるように設定してなることを特徴とする。

【0014】また、本発明（請求項3）は、透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置した位相シフトマスクにおいて、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が略180°となるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部で囲まれた領域に形成された開口部の全て若しくは一部が2本の平行な開口部に平行であり、かつ2本の平行な開口部に垂直な任意の断面における囲まれた開口部の本数が断面の位置によって奇数の場合と偶数の場合が存在するとき、偶数部分において隣接した開口部を透過した光の相対位相を180°になるようにし、その結果奇数部分において隣接する開口部を透過した光の相対位相が0°になるパターンに対し、この0°になった隣接する開口部を透過した光の相対位相が90°となるようにシフトの配置条件を変更してなることを特徴とする。

5

【0015】また、本発明（請求項4）は、透光性基板上に所望の開口部パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口部の一部に位相シフトを配置し、隣接する開口部の相対位相差が 0° 、 90° 、 180° 、 270° のグループよりなる位相シフトマスクにおいて、透明基板に対する相対位相差を 180° で除した値 a_i についてその少数部が0.44から0.55である第1のパターングループを抽出し、少数部が $0.94 < a_i$ となる第2のパターングループを抽出し、第1のグループで描画することで 90° 位相差のシフトパターンを形成し、第2のグループで描画することで 180° 位相差のシフトパターンを形成してなることを特徴とする。

【0016】一方、本発明（請求項5）は、透光性基板上に所望の開口パターンを有する遮光膜を形成すると共に、開口パターンの一部に透過光に対して位相をシフトする位相シフト材料を形成した位相シフトマスクにおいて、位相シフト材料が形成されていない開口パターンからなる透過部と、位相シフト材料が形成された開口パターンからなるシフト部の双方に位相シフト材料と同じ材料からなるバッファ膜を形成し、透過部及びシフト部を通過する光の透過率が略等しくなるようにバッファ膜の厚みを調整してなることを特徴とする。

【0017】より具体的には本発明の特徴は、位相シフトを透過性の高いレジスト（PMMA等）やCVD法やスパッタ法で形成した SiO_2 膜、SOG等の塗布で形成する SiO_2 膜等の成膜によって形成し、かつ通常の位相シフトマスクの作製プロセスを経て形成されたマスクの全面（基板開口部と位相シフト部を含む領域）に位相シフトと同一の材料を位相シフト形成と同一のプロセスで形成する。この全面に形成した位相シフトと同一の材料の膜厚を次式のように選ぶことにより（膜厚の値は露光波長と位相シフト材料の屈折率によって決まる）、基板開口部を透過した光強度と位相シフトを透過した光強度の値を等しくすることができる。

【0018】

$$h = (\lambda / 4 n_s) \{ m - n_s / (n_s - 1) \}$$

但し、 n_s ：シフト屈折率、 λ ：露光波長、 m ：整数である。

【0019】これにより、位相シフト部と透明基板の開口部で形成される解像パターンに不均一性が生じることなく、所望通りパターンが形成されるようになる。上式より m の値によっては膜厚 h は負の値となるが、これはマスク製作上不合理である。従って、 m は $h \geq 0$ となるような値を選ぶべきである。さらに、マスク製作におけるスループットの関係から膜厚 h はなるべく薄い値、即ち m の値は小さい値とすることが望ましい。しかし、 h の値が小さすぎると成膜時間が短時間であるため、均一で精度の高い膜が形成できない。マスク作製のスループット、成膜の安定性から m の値は6から9までが適当であると考えられる。

6

【0020】さらに、透光性基板上にマスクパターンと位相シフトパターンが形成され、位相シフト材料を透過した光の位相回転角度の所望値からのずれが $\pm 10^\circ$ 以内であるとき、位相シフトパターンが形成されていない開口部を透過した光強度に対する位相シフトパターンが形成されている開口部を透過した光強度の比が0.99～1.01、より好ましくは0.995～1.005となるような屈折率の材料を位相シフト材料とする。

【0021】

【作用】本発明（請求項1～4）において、従来の位相シフトマスクの開口部にシフトを配置するとき、本来は隣合うパターンが同位相とならないように 0° 、 180° 、 0° 、 180° …（隣合うパターンを透過する光の相対位相差が 180° ）とシフトを交互に配置するが、本発明者らは連続するパターンに 0° 、 90° 、 180° 、 270° （隣合うパターンを透過する光の相対位相差が 90° ）のシフトを配置し、その解像性を調べた。その結果を図17に示す。シフトを 0° 、 90° 、 180° 、 270° に配置しても 0° 、 180° 、 0° 、 180° …と配置する場合に比べ解像力の低下は少なく、通常露光（全開口部を透過する光の位相が同位相）に比べ解像性が高いことが判明した。

【0022】以上の結果から本発明のように、開口部にシフトを配置するとき、 0° 、 180° の位相シフトだけでなく、例えば 90° 、 270° の位相シフトを配置し隣合う開口部を透過する相対位相差を 90° としても、位相シフト法としての十分な効果が得られる。さらに、従来は位相シフト法の効果を高めるためライン・アンド・スペースのような周期的なパターンに 0° 、 180° の位相シフトを交互に配置していたため設計的な制約が大きかったが、例えば 90° 、 270° 若しくは 120° 、 240° の位相シフトを設けることによって、位相シフト法としての十分な効果が得られ設計的な自由度が高くなる。

【0023】具体的な配置方法としては、高密度メモリ素子のような電子デバイスのパターンに対しては、例えば高密度メモリ素子のメモリセルアレイ内パターンのような周期的若しくは高い解像性が要求されるパターン部分には 0° 、 180° （隣合うパターンを透過する光の相対位相差が 180° ）の組み合わせで位相シフトを配置し、その他のパターン部分（非周期的なパターン）には 0° 、 90° 、 180° 、 270° の位相シフトを隣合うパターンを透過する光の相対位相差が 90° 若しくは 180° となるように配置する。

【0024】一方、本発明（請求項5）において、位相シフトの形成を、透過性の高いレジストやCVD法やスパッタ法で形成した SiO_2 膜、SOG等の塗布で形成する SiO_2 膜といった成膜によって形成する場合、位相シフトと透明基板との露光波長に対する屈折率を厳密に合わせないと位相シフトと透明基板との界面での多重

7

反射が起こり、図18に示すように基板開口部を透過した光強度 I_q と位相シフトを透過した光強度 I_s の値が異なってくる。これは、位相シフト部と基板の開口部で形成される解像パターン寸法に不均一性が生じることを意味している。この問題は、位相シフトと透明基板との屈折率を等しくすることで解決できるが、位相シフト膜を成膜で行う以上、両者の屈折率を厳密に等しくすることは不可能に近い。

【0025】そこで本発明では、基板開口部及び位相シフト部の両方に位相シフト材料と同じバッファ膜を形成することにより、基板開口部及び位相シフト部の両方で積極的に多重反射を生じさせ、これらの多重反射の影響を等しくすることにより、位相シフト部と基板開口部で形成される解像パターン寸法に不均一が生じないようにしている。多重反射の影響が等しくなる理由は、後述するようにバッファ膜の膜厚を最適に調整すればよい。こ *

$$\begin{aligned} a_t &= a_0 t_1 t_2 + a_0 t_1 t_2 (r_1 r_2) \exp(i\delta) \\ &\quad + a_0 t_1 t_2 (r_1 r_2)^2 \exp(i2\delta) + \dots \\ &= a_0 t_1 t_2 / (1 - r_1 r_2 \exp(i\delta)) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

で与えられる。

【0027】ここで、隣合う光束間の位相差 δ は図19 ※

$$\begin{aligned} \delta &= k \{ (AB + BC) n_s - AP \} \\ &= (4\pi h n / \lambda) \cos \phi_1 \end{aligned} \quad \dots (2)$$

である。

★ ★ 【0028】 従って干渉光の強度は、

$$\begin{aligned} I_t &= |a_t|^2 \\ &= a_0^2 t_1^2 t_2^2 / \{ 1 + (r_1 r_2)^2 - 2 r_1 r_2 \cos \delta \} \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ここで、 r_1 , r_2 , t_1 , t_2 は垂直入射 ($\phi_1 = \star \star 0$) とすると、

$$\begin{aligned} r_1 &= (n_q - n_s) / (n_q + n_s) \\ r_2 &= (1 - n_s) / (1 + n_s) \\ t_1 &= 2 n_q / (n_s + n_q) \\ t_2 &= 2 n_s / (1 + n_s) \end{aligned} \quad \dots (4)$$

であるから、入射強度 $I_a = a_0^2$ に対する透過光強度 I_t の比は、 ◆ 【数1】

$$\begin{aligned} \frac{I_t}{I_a} &= \frac{16 n_s^2 n_q^2}{(n_s + n_q)^2 (1 + n_s)^2} \\ &\quad \div \left[1 + \frac{(n_q - n_s)^2 (1 - n_s)^2}{(n_q + n_s)^2 (1 + n_s)^2} - \frac{2 (n_q - n_s)(1 - n_s)}{(n_q + n_s)(1 + n_s)} \cos \delta \right] \end{aligned} \quad \dots (5)$$

となり、 δ は (2) 式より

$$\delta = 4\pi h n_s / \lambda \quad \dots (6)$$

$$\begin{aligned} \delta \theta &= (4\pi n_s / \lambda) \cdot \lambda / \{ 2 (n_s - 1) \} \cdot \theta / \pi \\ &= \{ 2 n_s / (n_s - 1) \} \theta \end{aligned} \quad \dots (7)$$

基板開口部と位相シフト部を透過する光強度を等しくするために、全面に位相シフトと同じ材料を位相角 $\delta \theta$ だ

となるので、シフトを配接していない開口部に対して位相が θ だけずれるシフトを透過する光の δ は (6) 式より

け形成する。このとき、(5) 式で表わされる I_t / I_a は、基板開口部と位相シフト部で等しくなるので、

9

$$\cos(\delta\pi + \delta\theta) = \cos\delta\theta$$

$$\therefore \theta = \{ (n_s - 1) / 2 n_s \} \{ m - (n_s / (n_s - 1)) \} \pi \quad \dots (8)$$

(6)(7)(8) 式より

$$h = (\lambda / 4 n_s) \{ m - (n_s / (n_s - 1)) \} \quad (m = 1, 2, 3 \dots) \quad \dots (9)$$

よって、(9) 式を満足する膜厚 h の位相シフトと同材料の膜を全面に形成すれば基板開口部と位相シフト部の多重反射の影響が同じになりそれぞれの透過光強度が等しくなる。

【0029】次に、位相シフトと同材料の膜を全面に形*

$$| (I_s - I_q) / I_q | \leq 0.01 \quad \dots (10)$$

(5)(10) 式より

$$\begin{aligned} & \frac{2(n_q - n_s)(1 - n_s)}{(n_q + n_s)(1 + n_s)} (\cos\delta + 1) \\ -0.01 \leq & \frac{1 + \frac{(n_q - n_s)^2 (1 - n_s)^2}{(n_q + n_s)^2 (1 + n_s)^2} - \frac{2(n_q - n_s)(1 - n_s)}{(n_q + n_s)(1 + n_s)} \cos\delta}{\dots} \leq 0.01 \quad \dots (11) \end{aligned}$$

いま、位相シフト膜厚の 180° からのずれ量の許容範囲*

$$170^\circ \leq \delta \leq 190^\circ$$

透明基板の屈折率 n_q は露光波長 λ により一様に決まるので、(8)(9) 式を同時に満足するシフトの屈折率 n_s がシフト基板界面での多重反射、シフト膜厚の 180° からのずれ量から見て望ましい値であり、このような屈折率の値の材料を選ぶべきである。

【0030】

【実施例】以下、本発明（請求項 1～4）の実施例を図面を参照して説明する。

$$t = \lambda / 2 (n_s - 1) \times \phi / 180 \quad \dots (13)$$

の位相シフト 3 が形成されている。但し、 λ ：露光波長、 n_s ：露光波長における位相シフトの屈折率、 ϕ ：透明開口部 101 を透過する光との位相差である。

【0032】また、1つの開口部に形成される位相シフト 3 の厚さは、その開口部の領域では同じものとして形成される。位相シフト 3 の材料としては、例えば液相成長法、スパッタ法、塗布法若しくは CVD 法で形成された SiO_2 膜などが考えられる。

【0033】いま、露光光を i 線 ($\lambda = 365 \text{ nm}$)、位相シフト材料を液相中で形成した SiO_2 膜とすると、位相シフトの i 線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、位相シフト 3 を透過する光と透明開口部 101 を透過する光との位相差を 180° としたい場合は、(13) 式より位相シフト 3 の膜厚を 409 nm とすればよいことが分かる。同様に、位相差を 90° としたいときは膜厚が 204.5 nm 、位相差を 270° としたいときは膜厚が 613.5 nm の位相シフト 3 を形成

10

*成しないときのシフト材料の屈折率の許容範囲について考える。このとき、基板開口部と位相シフト部を透過する光強度の差が基板開口部の光強度の 1% 以内が許容範囲とすると、

★囲が $\pm 10^\circ$ とすると

... (12)

☆【0031】（実施例 1）図 1 は本発明の第 1 の実施例に係わる位相シフトマスクの構造を示すもので、(a) は平面図、(b) (c) は (a) の矢視 A-A' 断面図である。まず、図 1 (b) では、透明基板 1 上に遮光膜パターン 2 が形成されている。透明基板 1 の材料としては例えば石英、遮光膜 2 の材料としては例えば酸化クロムなどがある。さらに、透明基板 1 上の開口部のある領域に厚さ t

すればよいことが分かる。このとき、位相シフト 3 の膜厚誤差の許容範囲は所望の膜厚の $\pm 10\%$ 以内である。

【0034】このように従来のレベンソン型位相シフト法は、 0° と 180° の位相だけで位相シフトマスクを形成していたため、隣合うパターンの位相が異なる組み合わせは $(0^\circ, 180^\circ)$ の 1 通りしかなく、そのため設計的に制約が大ききものであった。そこで、図 1 (b) のように新たに 90° 、 270° の位相シフトを追加することで、隣合うパターンの位相が異なる組み合わせは $(0^\circ, 90^\circ)$ ($0^\circ, 180^\circ$) ($0^\circ, 270^\circ$) ($90^\circ, 180^\circ$) ($90^\circ, 270^\circ$) ($180^\circ, 270^\circ$) の 6 通りとなり、設計的な制約が大幅に緩和されることになる。

【0035】また、図 1 (b) では透明基板 1 上に位相シフト 3 を形成する例を示したが、位相シフトは図 1 (c) のように彫り込みによって形成してもよい。この場合、彫り込み量は (13) 式で表され、 n_s は露光波長

11

における透明基板の屈折率となることは言うまでもない。このとき、彫り込み量誤差の許容範囲は所望の彫り込み量の $\pm 10\%$ 以内である。

【0036】以上述べたように、従来はレベンソン型位相シフト法の効果を高めるため 180° のシフトをライン・アンド・スペースのような繰り返しのパターンに交互に配置していたため設計的な制約が大きかったが、本実施例のように、開口部にシフトを配置するとき、例えば 0° 、 90° 、 180° 、 270° のシフトを配置することによって位相シフト法としての十分な効果が得られ、さらには設計的な自由度が高くなる。

【0037】具体的な配置としては、高密度メモリ素子のメモリセルアレイパターンのような周期的若しくは高い解像性が要求されるパターン部分には(0° 、 180°)の位相組み合わせ(相対位相差 180°)を用い、その他のパターンには隣合うパターンの位相が異なる組み合わせが(0° 、 90°)、(0° 、 180°)、(0° 、 270°)、(90° 、 180°)、(90° 、 270°)、(180° 、 270°) (相対位相差 90° 若しくは 180°)となるようにシフトを配置することによって、セルアレイ部は高い解像力が得られ、その他の部分は設計的な制約が緩和される。

【0038】(実施例2) 図2は、本発明の第2の実施例に係わる位相シフトマスクの製造工程を示す断面図である。本実施例では、液相成長法を用いた位相シフトマスクの製造方法について説明する。

【0039】まず、図2(a)に示すように、透明基板10上に遮光膜11からなるパターンを形成する。透明基板10としては例えば石英基板、遮光膜11としては例えば厚さ 100 nm の酸化クロムなどを用いる。

【0040】次いで、図2(b)に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部110及び 180° のシフトを形成する透明基板開口部112上にレジスト12が形成されるように、レジストをパターニングする。即ち、位相を 180° で除したとき的小数部が 0.44 以上 0.55 以下の位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。このレジストのパターニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。

【0041】次いで、酸化珪素が過飽和に溶解した液相中に透明基板を浸し、図2(c)に示すように、透明開口部に酸化珪素膜13を成長させる。このとき成長させる酸化珪素膜13の膜厚は、位相シフトを透過した光と透明基板を透過した光の位相差が 90° に近くなるような膜厚とする。このとき、位相シフトの膜厚誤差の許容範囲は所望の膜厚の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光を*i*線($\lambda = 365\text{ nm}$)とすると、液相成長法を用いて形成した酸化珪素の*i*線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき形成する酸化珪素膜13の膜厚は 204.5 nm に近い値となる。

12

【0042】次いで、図2(d)に示すように、レジスト12をSH法やアッシャー法などを用いて剥離する。次いで、図2(e)に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部110及び 90° のシフトを形成する透明基板開口部111上にレジスト14が形成されるように、レジストをパターニングする。即ち、位相を 180° で除したときの値 a_i が $0.94 < a_i$ となる位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。このレジストのパターニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。

【0043】次いで、酸化珪素が過飽和に溶解した液相中に透明基板を浸し、図2(f)に示すように、透明開口部に酸化珪素膜15を成長させる。このとき成長させる酸化珪素膜15の膜厚は、位相シフトを透過した光と透明基板を透過した光の位相差が 180° に近くなるような膜厚とする。このとき、位相シフトの膜厚誤差の許容範囲は所望の膜厚の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光を*i*線($\lambda = 365\text{ nm}$)とすると、液相成長法を用いて形成した酸化珪素の*i*線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき形成する酸化珪素膜の膜厚は 409 nm に近い値となる。次いで、図2(g)に示すように、レジストをSH法やアッシャー法などを用いて剥離する。

【0044】これにより、第1回目の酸化珪素膜13の成長で基板開口部111に膜厚 204.5 nm の位相シフト(90°)が形成され、第2回目の酸化珪素膜15の成長で基板開口部112に膜厚 409 nm の位相シフト(180°)が形成され、第1回及び第2回目の酸化珪素膜13、15の成長で基板開口部113に膜厚 613.5 nm の位相シフト(270°)が形成されることになる。

【0045】以上説明したように本実施例の位相シフトマスク製造方法を用いると、位相シフトの膜厚として 90° 、 180° 、 270° の3種類が存在するが、遮光膜パターン形成後のマスク上のレジストパターニングは2回で済み、マスク製造工程の短縮化がはかれる。さらに、 90° の位相シフト(即ち薄い膜厚の位相シフト)から先に形成しているため、マスク上の2回目のレジストパターニングの際(図2(e))、下地の段差(位相シフトと遮光膜の段差)の影響を最小限に抑えることができる。

【0046】(実施例3) 図3は、本発明の第3の実施例に係わる位相シフトマスクの製造工程を示す断面図である。本実施例では、液体の酸化珪素膜を塗布する方法(例えばSOGなど)やスパッタ法、CVD法を用いた位相シフトマスクの製造方法について説明する。

【0047】まず、図3(a)に示すように、透明基板16上に遮光膜17からなるパターンを形成する。透明基板16としては例えば石英基板、遮光膜17としては例えば厚さ 100 nm の酸化クロムなどを用いる。

13

【0048】次いで、液体の酸化珪素膜を塗布する方法（例えばSOGなど）やスパッタ法、CVD法を用いて、図3（b）に示すように、酸化珪素膜18をマスク全面に形成する。このとき形成する酸化珪素膜18の膜厚は、位相シフトを透過した光と透明基板を透過した光の位相差が 90° に近くなるような膜厚とする。このとき、位相シフトの膜厚誤差の許容範囲は所望の膜厚の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光をi線（ $\lambda = 365\text{ nm}$ ）とすると、CVD法を用いて形成した酸化珪素のi線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき形成する酸化珪素膜18の膜厚は 204.5 nm に近い値となる。

【0049】次いで、図3（c）に示すように、 90° のシフトを形成する透明基板開口部117及び 270° のシフトを形成する透明基板開口部119上にレジスト19が形成されるように、レジストをパターンニングする。即ち、位相を 180° で除したとき的小数部が 0.44 以上 0.55 以下の位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。このレジストのパターンニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。

【0050】次いで、図3（d）に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部116及び 180° のシフトを形成する透明基板開口部118上の酸化珪素膜をエッチングにより除去する。このエッチングは等方性、異方性いずれの方法を用いてもかまわない。

【0051】次いで、液体の酸化珪素膜を塗布する方法（例えばSOGなど）やスパッタ法、CVD法を用いて、図3（e）に示すように、酸化珪素膜20をマスク全面に形成する。このとき形成する酸化珪素膜20の膜厚は、位相シフトを透過した光と透明基板を透過した光の位相差が 180° に近くなるような膜厚とする。このとき、位相シフトの膜厚誤差の許容範囲は所望の膜厚の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光をi線（ $\lambda = 365\text{ nm}$ ）とすると、CVD法を用いて形成した酸化珪素のi線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき形成する酸化珪素膜20の膜厚は 409 nm に近い値となる。

【0052】次いで、図3（f）に示すように、 180° のシフト形成する透明基板開口部118及び 270° のシフトを形成する透明基板開口部119上にレジスト21が形成されるように、レジストをパターンニングする。即ち、位相を 180° で除したときの値 a_i が $0.94 < a_i$ となる位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。このレジストのパターンニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。

【0053】次いで、図3（g）に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部116及び 90° のシフトを形成する透明基板開口部117上の酸化珪素膜をエッ

14

チングにより除去する。このエッチングは等方性、異方性いずれの方法を用いてもかまわない。その後、レジストをSH法やアッシャー法などを用いて剥離する。

【0054】このような実施例であっても、遮光膜パターン形成後のマスク上のレジストパターンニングは2回行うだけで、位相シフトの膜厚として 90° 、 180° 、 270° の3種類を形成することができ、第2の実施例と同様の効果が得られる。

【0055】（実施例4）図4は、本発明の第4の実施例に係わる位相シフトマスクの製造方法を示す断面図である。本実施例では、エッチング法を用いた位相シフトマスクの製造方法について説明する。

【0056】まず、図4（a）に示すように、透明基板26上に遮光膜27からなるパターンを形成する。透明基板26としては例えば石英基板、遮光膜27としては例えば厚さ 100 nm の酸化クロムなどを用いる。

【0057】次いで、図4（b）に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部120及び 180° のシフトを形成する透明基板開口部122上にレジスト28が形成されるように、レジストをパターンニングする。このレジストのパターンニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。即ち、位相を 180° で除したとき的小数部が 0.44 以上 0.55 以下の位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。

【0058】次いで、図4（c）に示すように、透明基板26をエッチングによって彫り込む。このエッチングは等方性、異方性いずれの方式を用いてもかまわない。このときエッチングで彫り込む深さは、彫り込み部を透過した光と透明基板26を透過した光の位相差が 90° に近くなるような膜厚とする。このとき、彫り込む深さの許容範囲は所望の彫り込み量の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光をi線（ $\lambda = 365\text{ nm}$ ）、透明基板26を石英とすると、石英のi線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき掘り込む深さは 204.5 nm に近い値となる。その後、図4（d）に示すように、レジスト28をSH法やアッシャー法などを用いて剥離する。

【0059】次いで、図4（e）に示すように、シフトを形成しない透明基板開口部120及び 90° のシフトを形成する透明基板開口部121上にレジスト29が形成されるように、レジストをパターンニングする。即ち、位相を 180° で除したときの値 a_i が $0.94 < a_i$ となる位相シフトが形成される開口部を抜きパターンとする。このレジストのパターンニングには、電子ビームを用いてもよいし光リソグラフィを用いてもかまわない。

【0060】次いで、図4（f）に示すように、透明基板26をエッチングによって彫り込む。このエッチングには、等方性、異方性いずれの方法を用いてもかまわない。このときエッチングで彫り込む深さは、彫り込み部

15

を透過した光と透明基板 26 を透過した光の位相差が 180° に近くなるような膜厚とする。このとき、彫り込む深さの許容範囲は所望の彫り込み量の $\pm 10\%$ 以内である。いま、露光光を i 線 ($\lambda = 365 \text{ nm}$)、透明基板 26 を石英とすると、石英の i 線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから、このとき掘り込む深さは 409 nm に近い値となる。その後、図 4 (g) に示すように、レジスト 29 を SH 法やアッシャー法などを用いて剥離する。

【0061】これにより、第 1 回目のエッチングで基板開口部 121 に掘り込み深さ 204.5 nm の位相シフト (90°) が形成され、第 2 回目のエッチングで基板開口部 122 に掘り込み深さ 409 nm の位相シフト (180°) が形成され、第 1 回及び第 2 回目のエッチングで基板開口部 123 に掘り込み深さ 613.5 nm の位相シフト (270°) が形成されることになる。

【0062】以上説明したように本実施例の位相シフトマスク製造方法を用いると、位相シフトの膜厚として 90° 、 180° 、 270° の 3 種類が存在するが、遮光膜パターン形成後のマスク上のレジストパターンニングは 2 回ですみ、マスク製造工程の短縮化がはかれる。さらに 90° の位相シフト (即ち彫り込みの浅い位相シフト) から先に形成しているため、マスク上の 2 回目のレジストパターンニングの際 (図 4 (e))、下地の段差 (位相シフトと遮光膜の段差) の影響を最小限に抑えることができる。

【0063】(実施例 5) 図 5 は、本発明の第 5 の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフトの配置例を示す平面図である。なお、比較のために従来の位相シフトの配置例を図 6 に示す。各図とも周期的なパターンからなるセルアレイ領域と、非周期的なパターンからなるセンサンプ領域を点線で囲んである。

【0064】図 6 に示す従来例では、 0° 、 180° の位相のみで開口部にシフトを配置している。セルアレイ部のような周期的なパターンの部分では 180° に対する膜厚のシフトがあれば、隣合う開口部を透過する光の位相が異なるように配置できる。しかし、セルアレイ部からの導出部 (ここではセンサンプ部を例にあげている) では、隣合う開口部を透過する光の位相が同位相となる部分 (図中の p、q) が存在する。これらの部分では位相シフト法の効果が著しく低下するため、寸法を大きくしたり、隣合う開口部を透過する光の位相が異なるようにパターンを書き換える必要がある。このため、 0° 、 180° の位相のみで開口部にシフトを配置する場合は設計的に制約が大きいと言える。

【0065】これに対し図 5 に示す本実施例では、 0° 、 180° の位相の他に、 90° 、 270° の位相シフトを用いた場合のシフトの配置例を示している。このように 0° 、 90° 、 180° 、 270° の 4 種類の位相を用いた場合、隣合う開口部を透過する光の位相を異

16

ならせようとする、位相差は 90° 若しくは 180° となる。前記図 17 でも分かるように隣合う開口部を透過する光の位相差は 180° の方が解像力が高いので、セルアレイ部のような単純な繰り返しパターンの部分では、 0° 、 180° 、 0° 、 180° …とシフトを配置することが望ましい。それは、例えば DRAM のセル部分はトレンチやスタックといった 3 次元構造をとることが多く、その分高い解像力が要求されるからである。

【0066】さらに本実施例では、センサンプ部において従来では隣合う開口部を透過する光の位相が同相となる部分において、 90° 、 270° といった位相を設けている。この配置方法によって、センサンプ部分においても隣合う開口部を透過した光の位相が異なるようになり、位相シフト法の効果を持たせることができる。従って、従来の位相シフト法のように隣合う開口部を透過する光の位相が同じになる部分が少なくなり、これらの部分の寸法を大きくしたり、隣合う開口部を透過する光の位相が異なるようにパターンを書き換えるといった設計的な制約が小さくなる。

【0067】(実施例 6) 図 7 は、本発明の第 6 の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図である。図 7 (a) は従来例であり、 0° 、 180° の位相のみで開口部にシフトを配置している。このように従来のレベenson型位相シフト法は、 0° 、 180° の位相の組み合わせだけで位相シフトマスクを形成していたため、隣合うパターンの位相が異なる組み合わせは (0° 、 180°) の 1 通りしかなく、そのため図 7 (a) のパターン s、q には 0° 、 180° のいずれの位相を配置しても隣合うパターンの位相が等しくなってしまう。このため、この部分で位相シフト法の効果が著しく低減してしまう。

【0068】そこで本実施例では図 7 (b) のように、パターン s、q に新たに 90° 、 270° の位相シフトを組み合わせる。これによって、隣合うパターンの位相が異なる組み合わせは (0° 、 90°)、(0° 、 180°)、(0° 、 270°)、(90° 、 180°)、(90° 、 270°)、(180° 、 270°) の 6 通りとなり、隣合うパターンの位相が異なるようになり位相シフト法としての効果が生じてくる。

【0069】(実施例 7) 図 8 は、本発明の第 7 の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図である。この実施例では、隣接する開口部を透過した光の相対位相差が 180° に近くなるように位相シフトを配置した任意の 2 本の平行な開口部分で囲まれた領域 (図中の点線内の領域 D_A) に、前記 2 本の囲む開口部分に沿う方向に開口部分が形成されている。さらに、前記 2 本の囲む開口部分に沿う方向に垂直な任意の断面 (A-A' 断面) における開口部の本数は偶数 (図では 2 本) である。この場合、隣合う開口部を透過した光の相対位相を 180° に近くなるように位相シフトを

17

配置する。

【0070】このように配置することによって、隣合う開口部を透過した光の相対位相は常に 180° に近くなるようになり位相シフト法としての効果が十分に発揮され、本マスクを用いて形成されたパターンには高い解像力が得られるようになる。

【0071】(実施例8)図9は、本発明の第8の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図である。この実施例では、隣接する開口部を透過した光の相対位相が 180° に近くなるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部分で囲まれた領域(図中の点線内の領域D_B)に、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に開口部分が形成されている。さらに、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に垂直な任意の断面(B-B'断面)における開口部の本数は偶数(図では3本)である。この場合、隣合う開口部を透過した光の相対位相を 90° に近くなるように位相シフトを配置する。

【0072】このように配置することによって、隣合う開口部を透過した光の相対位相は常に 90° に近くなるようになり位相シフト法としての効果が十分に発揮され、本マスクを用いて形成されたパターンには高い解像力が得られるようになる。

【0073】(実施例9)図10は、本発明の第9の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図である。この実施例では、隣接する開口部を透過した光の相対位相が 180° に近くなるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部分で囲まれた領域(図中の点線内の領域D_C)に、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に開口部分が形成されている。さらに、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に垂直な任意の断面における開口部の本数は偶数の場合と奇数の場合が混在している。即ち、C1-C1'断面では偶数(図では2本)、C2-C2'断面、C3-C3'断面では奇数(図ではそれぞれ1本と3本)である。

【0074】このように偶数箇所が1つ、奇数箇所が複数の場合、まず偶数の部分の隣接した開口部を透過した光の相対位相を 180° に近くなるようにし(即ちC1-C1'断面においてQ1を 180° 、R1を 0° に近い値とし)、次にそれ以外の開口部分においては隣接する開口部を透過した光の相対位相を 90° に近くなるように(即ちC2-C2'断面、C3-C3'断面においてP1を 90° 若しくは 270° に近い値と)する。

【0075】このように配置することによって、隣合う開口部を透過した光の相対位相は常に 180° 若しくは 90° に近くなるようになり位相シフト法としての効果が十分に発揮され、本マスクを用いて形成されたパターンには高い解像力が得られるようになる。

【0076】(実施例10)図11は、本発明の第10の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例

18

を示す平面図である。この実施例では、隣接する開口部を透過した光の相対位相が 180° に近くなるように位相シフトを配置した任意の2本の平行な開口部分で囲まれた領域(図中の点線内の領域D_D)に、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に開口部分が形成されている。さらに、前記2本の囲む開口部分に沿う方向に垂直な任意の断面における開口部の本数は偶数の場合と奇数の場合が混在している。即ちD1-D1'断面、D2-D2'断面では偶数(図では2本)、D3-D3'断面では奇数(図では3本)である。

【0077】このように奇数箇所が1つ、偶数箇所が複数の場合、まず複数の偶数の部分(図ではD1-D1'断面とD2-D2'断面)のうち、どちらか一つ(図ではD1-D1'断面とする)において隣接した開口部を透過した光の相対位相を 180° に近くなるようにする(即ちD1-D1'断面においてQ2を 180° 、R2を 0° に近い値とする)。次にそれ以外の偶数の部分(図ではD2-D2'断面)において隣接した開口部を透過した光の相対位相を 180° に近くなるようにする(即ちD2-D2'断面においてP2を 180° に近い値とする)。このとき、P2-Q2間の相対位相差は 0° となり、この部分において位相シフト法の効果が得られなくなる。そこで、P2若しくはQ2のいずれかを 90° 若しくは 270° に近い値とする。これにより、P2-Q2間の相対位相差は 90° となり、この部分においても位相シフト法の効果が得られるようになる。

【0078】このように配置することによって、隣合う開口部を透過した光の相対位相は常に 180° 若しくは 90° に近くなるようになる。さらに相対位相 180° から先に配置することによって、相対位相 180° の部分が形成されることになり、マスク全面にわたって相対位相 90° の場合よりも位相シフト法としての効果が十分に発揮され(図17より相対位相 90° よりも 180° のほうが位相シフト法としての効果が高い)、本マスクを用いて形成されたパターンには高い解像力が得られるようになる。

【0079】次に、本発明(請求項5)の実施例を図面を参照して説明する。

【0080】(実施例11)図12は本発明の第11の実施例に係わる位相シフトマスクの構造を示す断面図である。透明基板50上に遮光膜パターン51が形成されている。透明基板50の材料としては例えば石英、遮光膜51の材料としては例えば酸化クロムなどを用いた。石英基板50上の開口部のある領域に厚さ $\lambda/2$ ($n_s - 1$)(λ :露光波長、 n_s :露光波長における位相シフトの屈折率)の位相シフト52が形成されている。位相シフト52の材料としては、例えば液相成長法、スパッタ法若しくはCVD法で形成されたSiO₂膜などを用いた。

19

【0081】ここまでは従来構造と同じであるが、本実施例ではさらに、位相シフト52と同じ成膜方法で形成した位相シフト52と同じ材料（バッファ膜）53を、石英開口部501と位相シフト部502の両方の光透過部を含む領域に均一に形成する。このとき、成膜方法によっては遮光膜上に形成される場合もあるが、遮光膜5*

$$h = (\lambda / 4 n_s) \{m - n_s / (n_s - 1)\} \quad \dots (14)$$

但し、 n_s ：シフト屈折率、 λ ：露光波長、 m ：整数である。

【0083】いま、露光光を*i*線（ $\lambda = 365 \text{ nm}$ ）、位相シフト材料を液相中で形成した SiO_2 膜とすると、位相シフトの*i*線波長での屈折率は $n_s = 1.446$ であるから位相シフト52の膜厚は 409 nm 、位相シフトと同じ材料のバッファ膜53の膜厚は $m = 5$ のとき 11.1 nm となる。

【0084】即ち、*i*線に対する位相シフトマスクを液相成長法を用いて形成するには、石英基板50上に遮光膜パターン51を形成した後、 409 nm の位相シフト52を液相成長法を用いて形成し、さらに同じ方法を用いて 11.1 nm の位相シフト52と同じ材料のバッファ膜53を石英開口部501と位相シフト部502の両方に形成すればよい。このバッファ膜53の膜厚の所望値からのずれの許容範囲は、所望値の $\pm 10\%$ 以内である。

【0085】図13に露光光を*i*線、位相シフトを液相成長法を用いた SiO_2 膜としたときの、入射強度に対する透過光の比 I_s の位相角 δ 依存性を示す。図より、 $\delta = 0^\circ$ のとき I_s は 92.793% なのに対して、 $\delta = 180^\circ$ のときは 93.109% となる。これは、液相成長法を用いて*i*線用位相シフトマスクを形成した場合、本実施例の手法（位相シフトと同じ膜を石英開口部と位相シフト部の両方に均一に形成するといった手法）を用いないと、位相シフト部を透過した光強度は石英開口部を透過した光強度に比べ 0.316% も高くなってしまうことが分かる。

【0086】これを補正するために、位相シフト部を透過した光強度と石英開口部を透過した光強度を等しくし、かつ位相シフト部を透過した光の位相と石英開口部を透過した光の位相を 180° 異なるようにするには、図13に示すように位相角 δ に対応する膜厚 h を、石英開口部と位相シフト部の両方に均一に形成すればよいことが分かる。

【0087】露光光を*i*線（ $\lambda = 365 \text{ nm}$ ）、位相シフト材料を液相中で形成した SiO_2 膜（ $n_s = 1.446$ ）としたときの本実施例に示した膜厚 h と整数 m の値の関係を図14に示す。図14より m の値によっては膜厚 h は負の値となるが、これはマスク製作上不合理である。従って、 m は $h \geq 0$ となるような値を選ぶべきである。さらに、マスク製作におけるスループットの関係から膜厚 h はなるべく薄い値とすることが望ましい。

20

*1上に形成されたバッファ膜53は露光の際転写に影響しない。この位相シフトと同じ材料のバッファ膜53の膜厚 h は露光波長 λ と位相シフトの屈折率 n_s で決定され、次式で与えられる。

【0082】

【0088】例えば*i*線用位相シフトの SiO_2 を液相中（成膜レート約 100 nm/h ）で形成すると、図14より $m = 10$ の場合、成膜時間が通常の位相シフトマスクの約 12% も余分にかかることになる。また、 h の値が小さ過ぎると成膜時間が短時間であるため、均一で精度の高い膜が形成できない。液相中で位相シフトを形成する場合、膜厚 20 nm 以下では膜の均一性が低いことが知られている。つまり、 m の値の下限は膜厚の安定性で決定され、この下限値はマスク製作プロセスによって異なる。以上のことから、液相中で*i*線用の位相シフトマスクを形成する場合、図14に示したように m の値は6から9までが適当であると考えられる。

【0089】このように本実施例によれば、通常の位相シフトマスクの作製プロセスを経て形成されたマスクの全面（透明基板開口部と位相シフト部）に位相シフトと同一の材料を形成し、この材料の膜厚を選ぶことによって（膜厚の値は露光波長と位相シフト材料の屈折率によって決まる）、透明基板開口部を透過した光強度と位相シフト部を透過した光強度の値を等しくすることができ、これにより、位相シフト部と透明基板開口部で形成される解像パターンに不均一性が生じることなく所望通りパターンが形成されるようになる。

【0090】（実施例12）図15は、本発明の第12の実施例における最適屈折率をもつシフト材料を選ぶ方法を説明するための図である。第11の実施例で示したように位相シフトと同じ膜を石英開口部と位相シフト部の両方に形成する手法を用いなく、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差が許容範囲内となるようにシフト材料の屈折率（即ち適したシフト材料）を選ばなければならない。いま、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差が石英開口部の光強度の 1% 以内が許容範囲とすると、前記(11)式のようになる。

【0091】また、位相シフト膜厚の 180° からのズレ量の許容範囲が ± 10 度とすると前記(12)式のようになる。

【0092】図4は、 KrF エキシマレーザを用いたときの I_s / I_q の位相シフト屈折率 n_s 依存性を示している。(12)式を満たす I_s / I_q の値は、図4の斜線部で示されている。いま、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差が石英開口部の光強度の 1% 以内が許容範囲とするシフトの屈折率は、次の関係を満たすことが必要である。

21

【0093】

$$1.46 \leq n_s \leq 1.55 \quad \dots (15)$$

次に、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光 *

$$-0.005 \leq \frac{\frac{2(n_q - n_s)(1 - n_s)}{(n_q + n_s)(1 + n_s)}(\cos \delta + 1)}{1 + \frac{(n_q - n_s)^2(1 - n_s)^2}{(n_q + n_s)^2(1 + n_s)^2} - \frac{2(n_q - n_s)(1 - n_s)}{(n_q + n_s)(1 + n_s)}\cos \delta} \leq 0.005$$

となる。また、位相シフト膜厚の180°からのズレ量の許容範囲が±10度とすると、前記(12)式となる。

【0094】図15はKrFエキシマレーザーを用いたときの I_s/I_q の位相シフト屈折率 n_s 依存性を示している。(9)式を満たす I_s/I_q の値は図15の斜線部で示されている。いま、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差が石英開口部の光強度の1%以内が許容範囲とするシフトの屈折率は次の関係を満たすことが必要である。

【0095】

$$1.48 \leq n_s \leq 1.53 \quad \dots (17)$$

ここで、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差の許容範囲が石英開口部の光強度の±1%以内望ましくは±0.5%以内となる根拠について図16を用いて説明する。図16はレジスト寸法の透過光強度の所望値からのずれ依存性である。図16よりデバイス試作に必要な焦点深度±0.5μm以上得るには、透過光強度の所望値からのずれの許容範囲は±1%であることが分かる。また、図16より商品デバイス作製に必要な焦点深度±1.0μm以上得るには、透過光強度の所望値からのずれの許容範囲は±0.5%であることが分かる。

【0096】このように本実施例によれば、位相シフトと同じ膜を透明基板開口部と位相シフト部の両方に形成する手法を用いないとき、石英開口部の透過光強度と位相シフト部の透過光強度の差が許容範囲内となるようにシフト材料の屈折率（即ち適したシフト材料）を選ぶことによって、位相シフト部と透明基板開口部で形成される解像パターンに不均一性が生じることなく所望通りパターンが形成されるようになる。

【0097】

【発明の効果】以上詳述したように本発明（請求項1～4）によれば、0°、90°、180°、270°の位相組み合わせ（隣合うパターンを透過した光の相対位相差が90°若しくは180°）で位相シフトを配置することにより、位相シフト法における十分な解像力を保持しながら、マスクの設計的な制約を小さくすることのできる位相シフトマスクを実現することが可能となる。

22

*強度の差の許容範囲がより厳しく0.05%とすると、

【数3】

..... (16)

【0098】また、本発明（請求項5）によれば、透過部とシフト部の双方に位相シフト材料と同じ材料からなるバッファ膜を形成し、このバッファ膜の厚みを最適に設定することにより、基板開口部を透過した光強度と位相シフト部を透過した光強度を近付けることができ、位相シフト部と透明基板の開口部で形成される解像パターンの均一性向上をはかり得る位相シフトマスクを実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係わる位相シフトマスクの構造を示す平面図と断面図。

【図2】第2の実施例に係わる位相シフトマスクの製造工程を示す断面図。

【図3】第3の実施例に係わる位相シフトマスクの製造工程を示す断面図。

【図4】第4の実施例に係わる位相シフトマスクの製造工程を示す断面図。

【図5】第5の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図6】比較のために従来の位相シフトマスクのシフト配置例を示す平面図。

【図7】第6の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図8】第7の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図9】第8の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図10】第9の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図11】第10の実施例に係わる位相シフトマスクの位相シフト配置例を示す平面図。

【図12】第11の実施例に係わる位相シフトマスクの構造を示す断面図。

【図13】第11の実施例における位相角と透過率との関係を示す特性図。

【図14】第11の実施例における膜厚と整数値との関係を示す特性図。

【図15】第12の実施例における最適屈折率を持つシ

23

フタ材料を選ぶ方法を説明するための図。

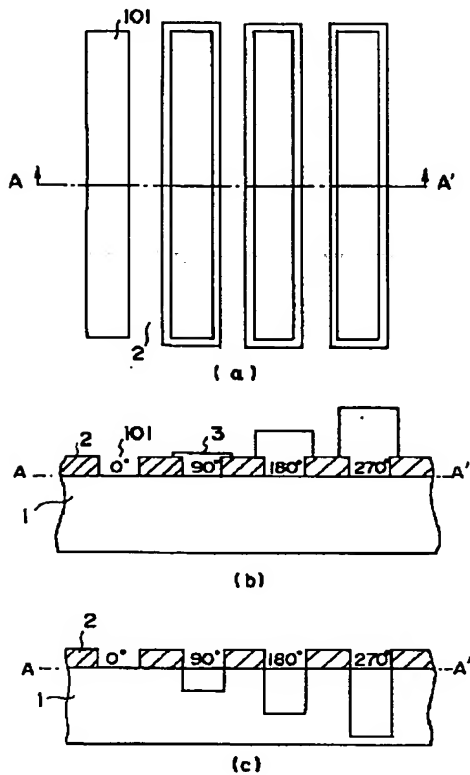
【図 16】レジスト寸法の透過光強度の所望値からのずれ依存性を示す図。

【図 17】本発明の作用を説明するためのもので、デフォーカス値とコントラストとの関係を示す特性図。

【図 18】本発明の作用を説明するためのもので、基板開口部を透過した光強度 I_q と位相シフトを透過した光強度 I_s の値が異なる様子を示す図。

【図 19】本発明の作用を説明するためのもので、透明基板/シフトの 2 層構造におけるシフト内の多重反射の * 10

【図 1】



24

*様子を示す図。

【図 20】位相シフト法の原理を示す図。

【符号の説明】

1, 10, 16, 26, 50…透明基板

2, 11, 17, 27, 51, 52…遮光膜

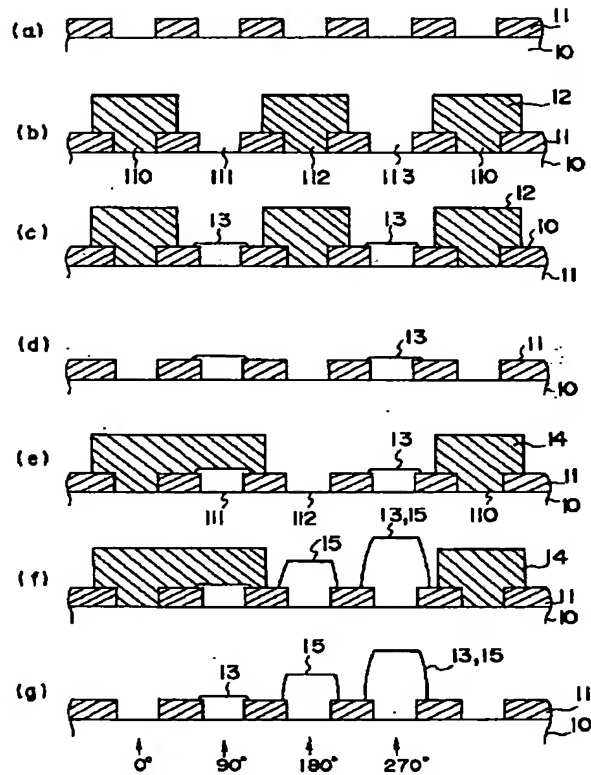
3, 13, 15, 18, 20…位相シフト

12, 14, 19, 21, 28, 29…レジスト

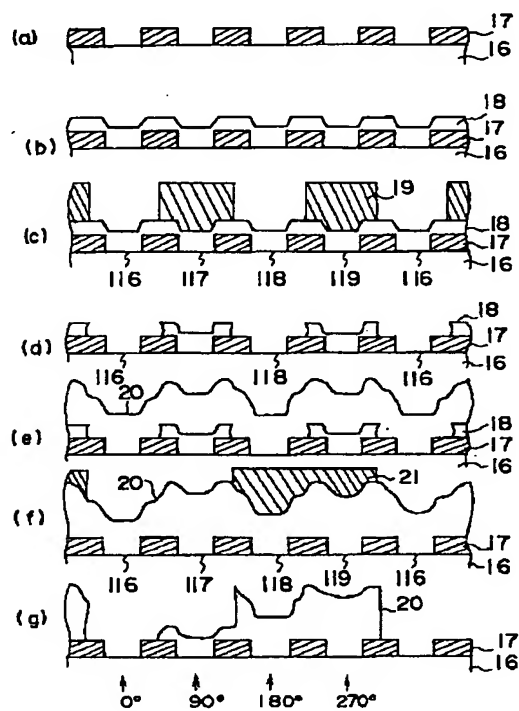
53…バッファ膜

101, 110~113, 116~123…透明開口部

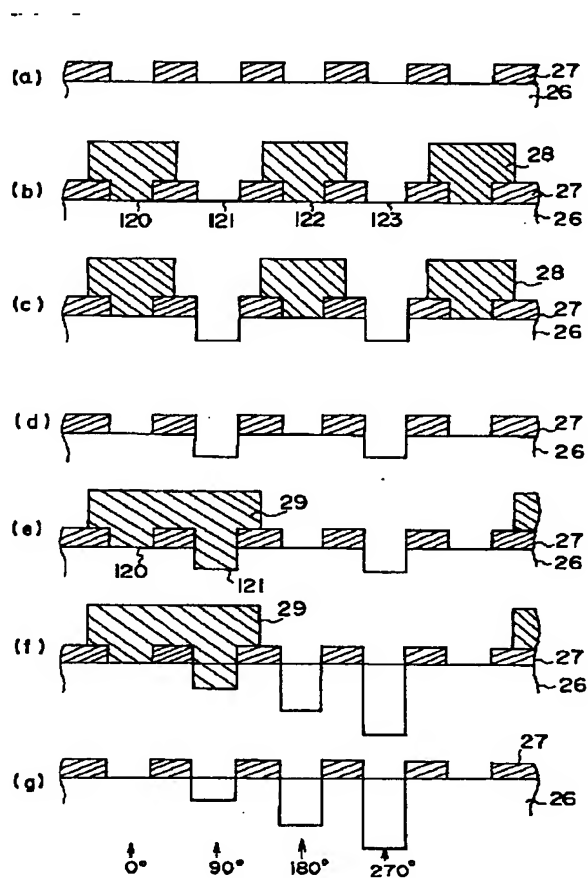
【図 2】



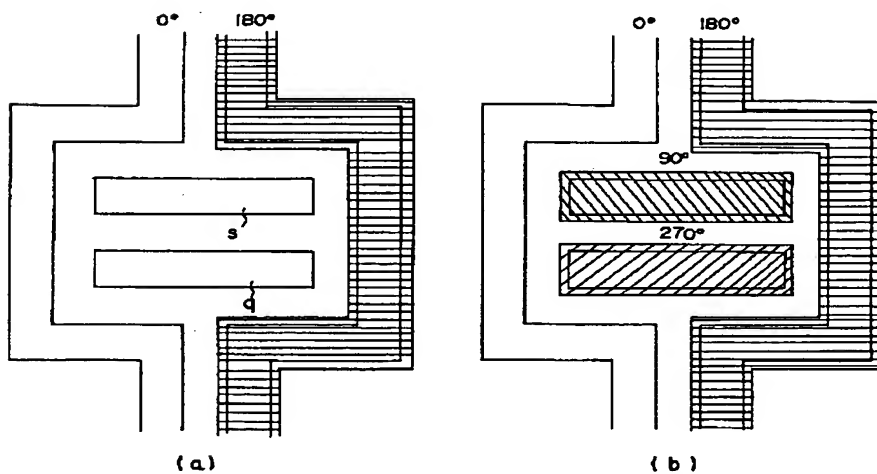
【図 3】



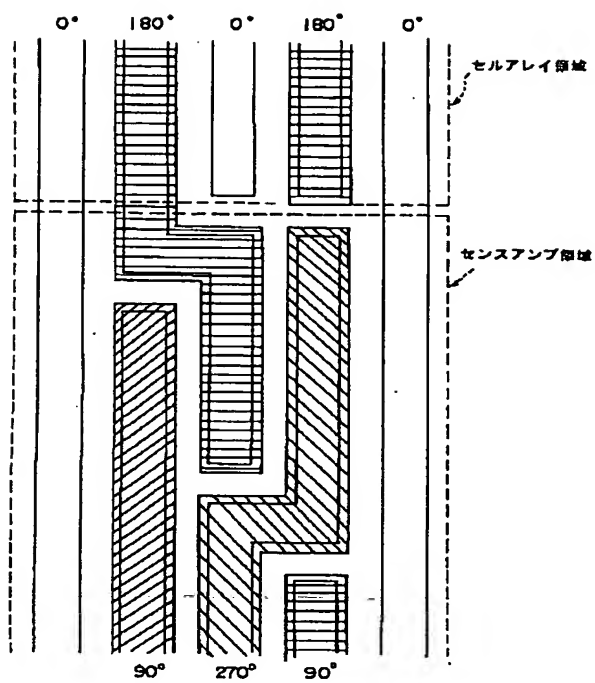
【図 4】



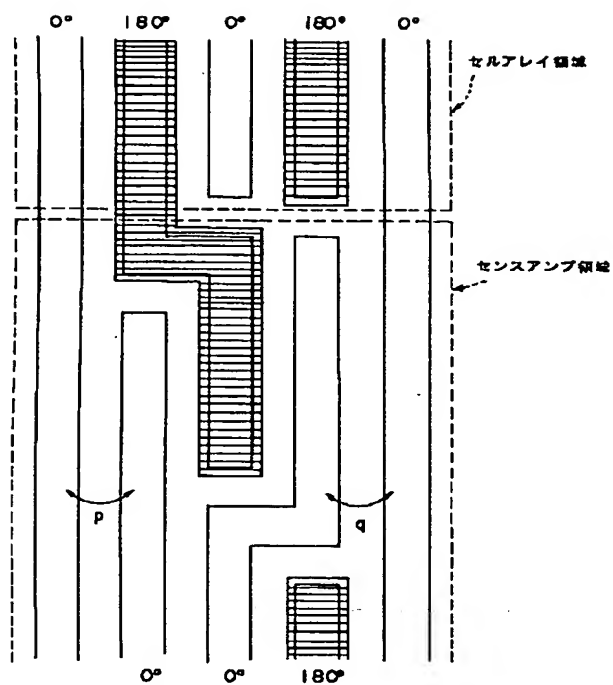
【図 7】



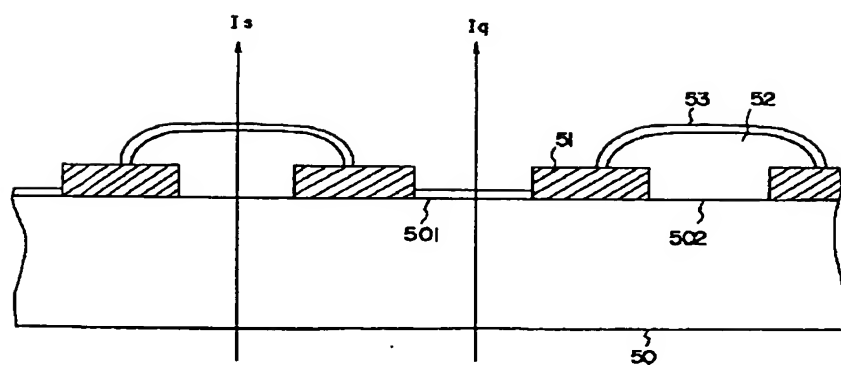
【図 5】



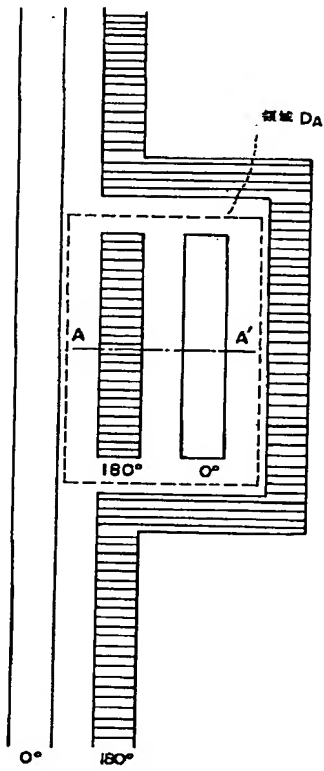
【図 6】



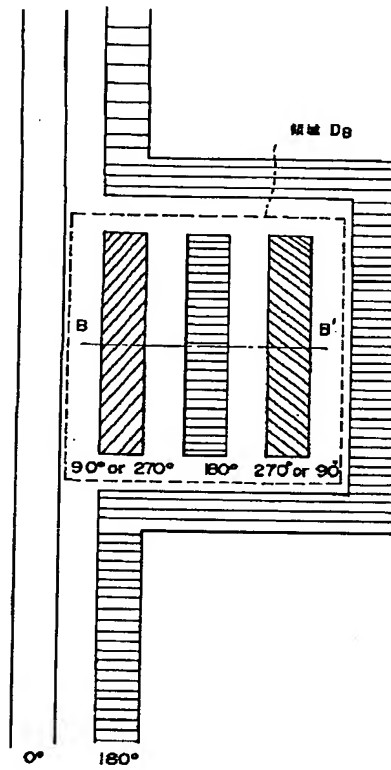
【図 12】



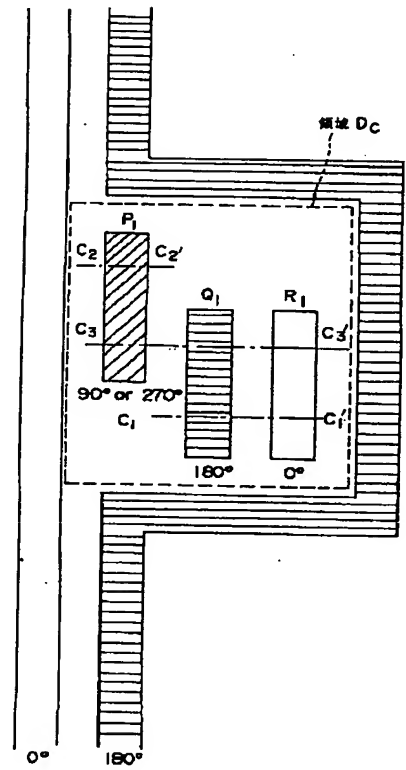
【図8】



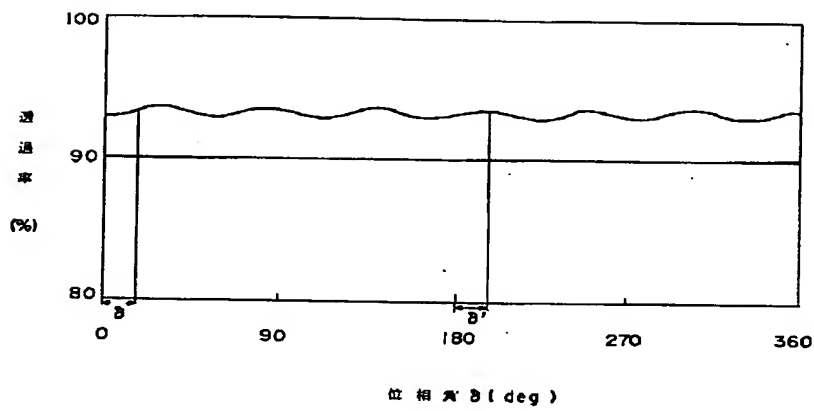
【図9】



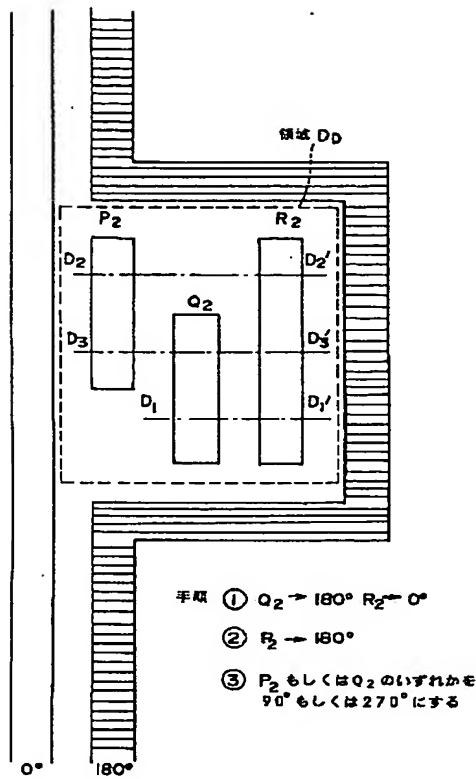
【図10】



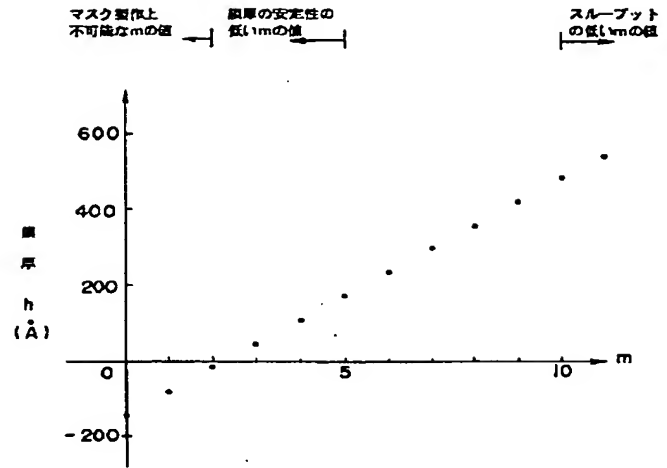
【図13】



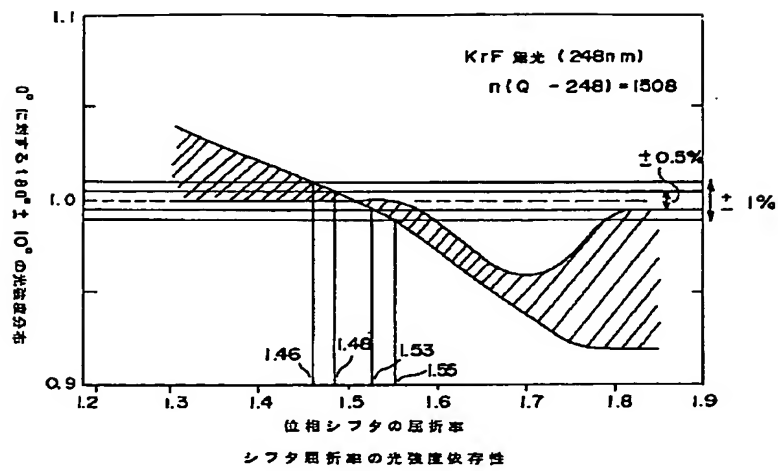
【図11】



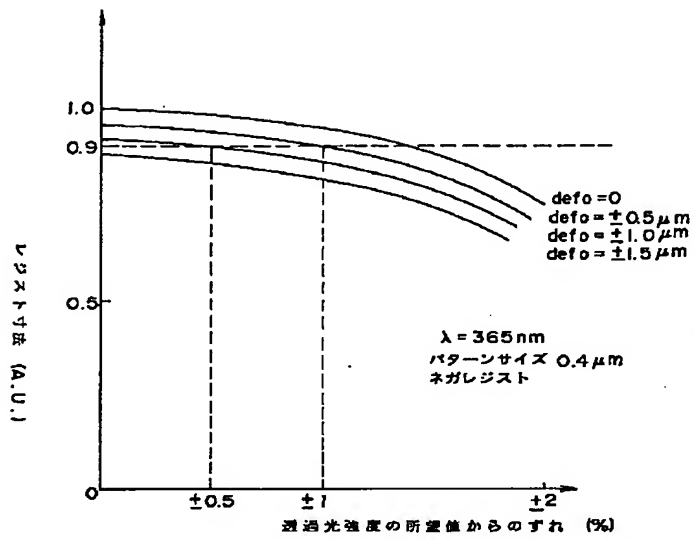
【図14】



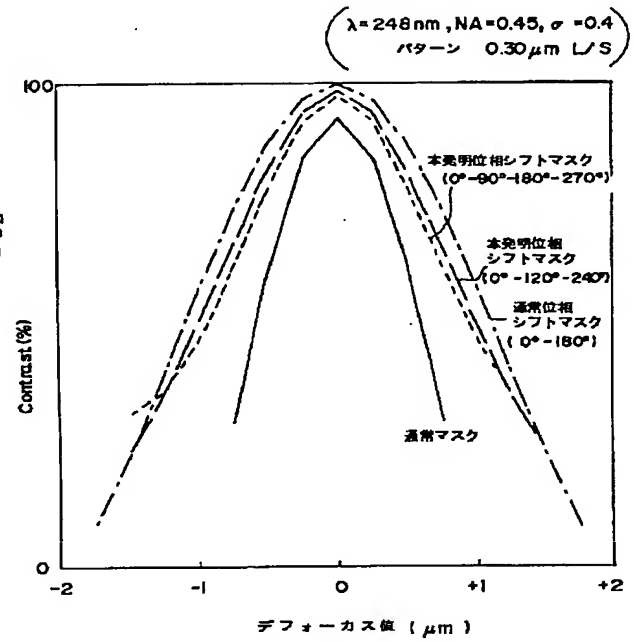
【図15】



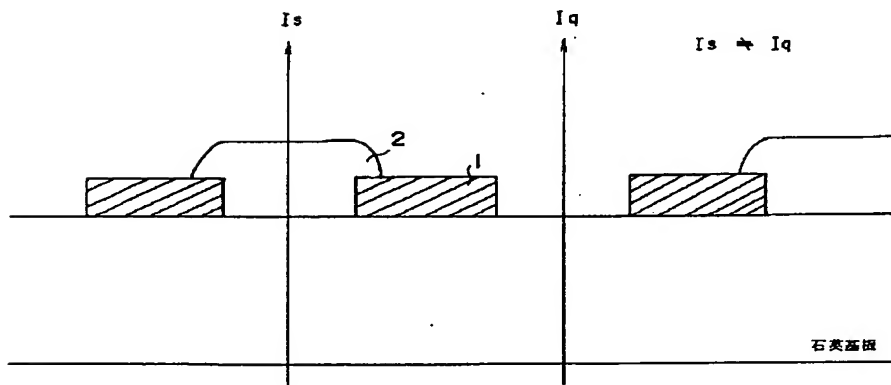
【図16】



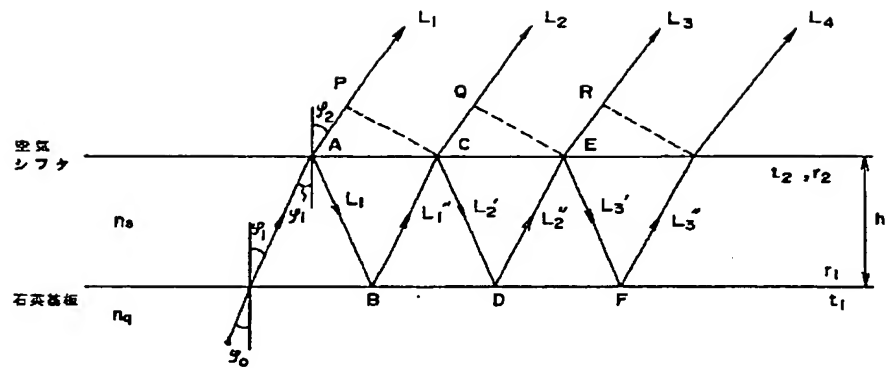
【図17】



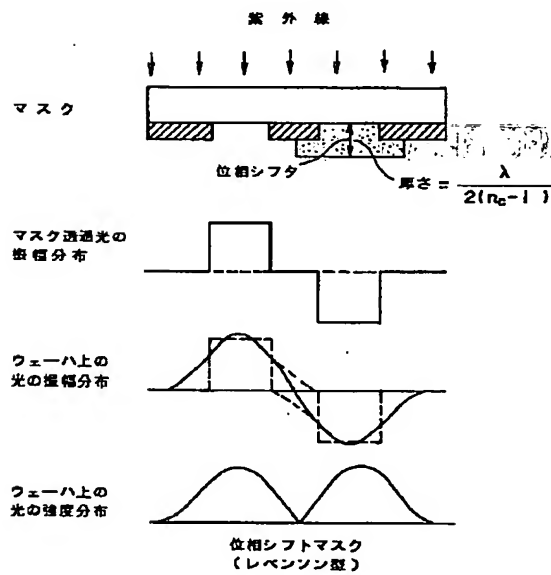
【図18】



【図 19】



【図 20】



THIS PAGE BLANK (USPTO)